

## PEMBUATAN SERAT POLIESTER KEKUATAN TINGGI DAN KARAKTERISASI TERHADAP SIFAT FISIK DAN SUPERMOLEKULERNYA

Zubaidi

Balai Besar Penelitian dan Pengembangan Industri Tekstil - DEPERIN  
Jl. Jenderal A. Yani 390, Bandung

### ABSTRAK

**PEMBUATAN SERAT POLIESTER KEKUATAN TINGGI DAN KARAKTERISASI TERHADAP SIFAT FISIK DAN SUPERMOLEKULERNYA.** Penelitian pembuatan serat poliester kekuatan tinggi dan karakterisasinya telah dilakukan melalui modifikasi supermolekuler menggunakan pemanasan, penarikan, pendinginan mendadak. Serat poliester dengan orientasi dan kristalinitas rendah dimodifikasi dengan cara pemanasan dengan variasi suhu, penarikan dengan variasi panjang (*draw ratio*), pemanasan dan pendinginan mendadak serta pengulangannya untuk mendapatkan kristalinitas dan orioentasi yang berbeda. Dari hasil beberapa pengujian dapat disimpulkan bahwa gabungan perlakuan pemanasan, penarikan dan pendinginan mendadak yang dilakukan berulang pada suhu yang lebih tinggi akan menghasilkan bentuk kristalin dan orientasi yang paling tinggi. Makin tinggi kristalinitas, makin tinggi kekuatan dan kestabilan dimensinya, tetapi persen mulur cenderung berkurang.

**Kata kunci :** Serat poliester kekuatan tinggi, Modifikasi supermolekuler

### ABSTRACT

**PREPARATION OF HIGH TENACITY POLYESTER FIBERS AND CHARACTERIZATION OF ITS PHYSICAL AND SUPER MOLECULAR PROPERTIES.** The research of preparation of high tenacity polyester and its characterization have been studied by supermolecular modification using heating, stretching and quenching. The partially oriented and crystallined polyester fibers were heating with various temperatures, stretching with various draw ratios, and quenching in order to make the difference crystallinity and orientations. From some testing, result it can be concluded that the combination of heating, stretching, quenching with the repeating processes at higher temperature will give the highest crystallinity and orientation. The higher the crystallinity of polyester, tenacity and dimension stability tend to increase, however the elongation tend to decrease.

**Key words :** High tenacity polyester fiber, Supermolecular modification

### PENDAHULUAN

Polietilen tereftalat adalah salah satu dari senyawa poliester yang merupakan bahan penting yang banyak digunakan untuk berbagai keperluan industri maupun rumah tangga. Sampai saat ini penggunaan serat poliester terus berkembang baik sebagai bahan baku tekstil sandang maupun untuk keperluan lainnya. Hal tersebut terlihat dari makin banyaknya negara berkembang di Asia melakukan ekspor serat poliester kekuatan tinggi [1]. Serat poliester cenderung disukai karena mempunyai sifat yang relatif baik, dapat diproduksi secara masal, dan harganya cukup memadai.

Oleh karena itu, penggunaan serat poliester cenderung mendominasi serat alam maupun serat sintetis lainnya seperti serat kapas, rayon, akrilik, polipropilen

dan selainnya. Kekuatan serat poliester dan beberapa sifat lainnya relatif baik, namun untuk keperluan khusus seperti tekstil industri, militer, pelayaran, keperluan olah raga dan tali parasut peningkatan kekuatan, kestabilan, dan sifat-sifat lain masih perlu ditingkatkan.

Panjang rantai polimer dapat mempengaruhi kekuatan tarik serat. Rantai polimer yang panjang akan menghasilkan ikatan antar molekul satu dengan lainnya lebih besar. Sebaliknya, rantai polimer yang pendek akan menghasilkan ikatan antar molekul yang lebih kecil. Oleh karena itu untuk mendapatkan bahan yang kuat diperlukan rantai polimer yang panjang. Panjang rantai polimer pada serat poliester banyak ditentukan pada saat proses polimerisasinya. Oleh karena itu, untuk

mendapatkan kekuatan tinggi terjadinya pemotongan dan kerusakan rantai polimer perlu dihindarkan. Terputusnya rantai polimer beberapa serat sintetik biasanya disebabkan oleh faktor luar seperti oksidator, reduktor, sinar *UV* dan panas yang berlebihan.

Struktur supermolekuler juga dapat mempengaruhi kekuatan serat [1]. Susunan struktur molekuler yang padat dan kompak akan memberikan daya tarik antar molekul yang lebih besar dibanding susunan struktur molekuler yang *amorf*. Sehingga struktur molekuler yang padat dan kompak akan menghasilkan kekuatan tinggi. Serat poliester merupakan serat sintetik yang mempunyai rantai panjang serta bersifat termoplastik. Oleh karena itu, derajat kristalinitas dan derajat orientasi serat poliester dapat diatur sesuai kebutuhan. Pemberian panas pada suatu bahan (polimer) akan meningkatkan gerakan *Brown* yaitu gerakan elektron-elektron maupun atom-atom yang lebih besar sehingga molekul-molekul akan bergerak tak menentu. Dalam keadaan tersebut struktur supermolekuler akan menjadi labil dan dapat mengalami restrukturisasi. Perubahan tersebut akan lebih dipacu atau dipengaruhi oleh perlakuan fisik/mekanik yang diberikan.

Penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan serat poliester yang memiliki kekuatan tinggi dengan cara modifikasi struktur supermolekulernya. Selain itu, juga untuk mengetahui sifat-sifat struktur supermolekuler serat poliester dalam rangka memajukan ilmu pengetahuan dan teknologi serta membantu industri tekstil pada khususnya.

## METODE PERCOBAAN

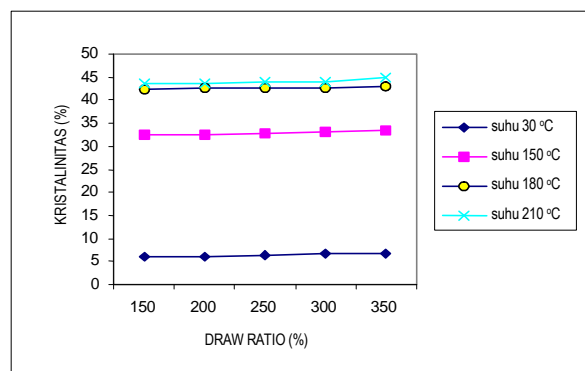
Bahan serat poliester (polietilen tereftalat) diperoleh dari hasil ekstrusi tanpa penarikan (*undrawn yarn*) atau *Partially Oriented Yarn (POY)* dicuci dan dikeringkan tanpa pemanasan pada suhu kamar. Beberapa percobaan dan persiapan dilakukan untuk mendapatkan serat yang mempunyai struktur supermolekuler yang bervariasi serta tetap mempertahankan berat molekul (panjang rantai) yang tinggi. Bahan dipanaskan dan ditarik pada suhu dan panjang penarikan (*draw ratio*) bervariasi. Pemanasan dilakukan dengan variasi suhu dari suhu kamar (30 °C) sampai pada suhu dibawah titik leleh. Selain itu dilakukan pula pemanasan pada suhu tinggi dan didinginkan pada 20 °C secara mendadak. Perlakuan yang sama diulang pada serat yang sama pada suhu yang lebih tinggi untuk mendapatkan derajat kristalinitas yang lebih tinggi.

Pengujian kristalinitas dilakukan dengan menggunakan *X-Ray Diffraction (XRD)* dan juga menggunakan *Density Gradient Column (DGC)*. Pengujian kekuatan dan mulur dilakukan menggunakan *Tensilon UTM 111-100* (Toyo baldwin Co.Ltd). Sifat termomekanika dan beberapa sifat termal lainnya diuji dengan menggunakan *Thermal Analyzer* (Shimadzu DT 40).

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Kristalinitas dan Orientasi

Hasil pengujian kristalinitas menunjukkan bahwa suhu pemanasan lebih banyak berpengaruh pada kristalinitas serat. Makin tinggi suhu makin tinggi kristalinitasnya. Faktor penarikan (*draw ratio*) pada suhu yang sama hanya sedikit memberikan pengaruh kristalinitasnya. Hal tersebut berlaku pada suhu rendah maupun pada suhu tinggi. Hubungan antara persen kristalinitas, besarnya *draw ratio* dan suhu penarikan disajikan pada Gambar 1.



Gambar 1. Hubungan kristalinitas terhadap *draw ratio* dan suhu penarikan serat poliester.

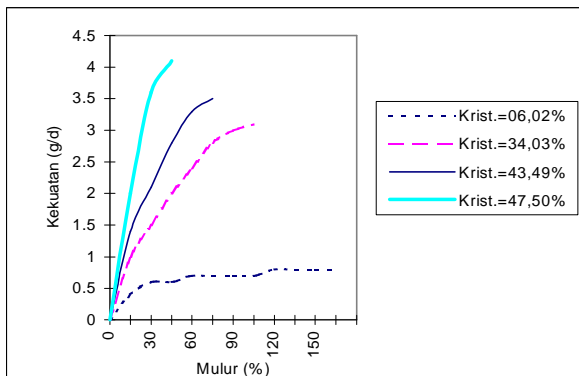
Orientasi struktur molekul lebih ditentukan oleh faktor penarikan. Hal ini terlihat jelas pada penarikan serat amorf pada suhu rendah. Dalam penarikan serat tersebut terjadi pengecilan diameter secara serentak serta terjadi peningkatan kilau pada bagian yang sudah ditarik (terorientasi). Batas antara bagian yang terorientasi dan amorf membentuk seperti leher botol (*bottle necking*) yang memisahkan antara yang amorf dengan yang terorientasi. Hal tersebut juga membuktikan bahwa daya tarik menarik antara molekul pada poliester amorf relatif rendah dan kurang kompak serta mudah dipengaruhi oleh faktor luar (penarikan).

Sifat fisika dari hasil penarikan pada suhu rendah cenderung tidak stabil, hal tersebut ditunjukkan oleh terjadinya mengeret dalam waktu yang relatif singkat. Dari sifat tersebut dapat disimpulkan bahwa serat amorf yang terorientasi cenderung tidak stabil. Selama mengeret tersebut dimungkinkan terjadi perubahan dari bentuk terorientasi ke bentuk amorf.

### Kekuatan Tarik dan Mulur

Kekuatan tarik banyak dipengaruhi oleh kristalinitas. Makin tinggi kristalinitas makin tinggi kekuatannya sedangkan persen mulur makin rendah. Dengan kata lain, pemanasan akan meningkatkan kristalinitas dan kekuatan tarik serat. Gambar 2. memperlihatkan hubungan antara kekuatan dan mulur pada poliester *Partially Oriented Yarn (POY)* dengan

derajat kristalinitas 6,02%, *Medium Oriented Yarn (MOY)* *Fully Oriented Yarn (FOY)* dan *Polyester Hight Tenacity (HT)* dengan derajat kristalinitas 47,50 %.



**Gambar 2.** Kurva kekuatan dan mulur pada serat poliester pada berbagai kristalinitas.

Pemanasan pada suhu tinggi dan disertai penarikan terhadap serat poliester amorf dapat meningkatkan kekuatannya. Makin tinggi suhu pemanasan akan memberikan kekuatan yang lebih tinggi, tetapi persen mulur menjadi berkurang. Bentuk kristalin akan meningkatkan kekompakan antar rantai molekul sehingga meningkatkan kekuatan dan perubahan ini juga diikuti dengan kestabilan dimensi yang lebih baik. Sebaliknya bentuk amorf akan memberikan kesempatan rantai molekul lebih terorientasi dan memberikan persen mulur yang lebih besar.

### Struktur Supermolekuler

Pemanasan pada suhu tinggi yang diikuti pendinginan mendadak menghasilkan persen mulur yang lebih kecil dibanding cara pemanasan disertai penarikan saja, sedangkan kekuatan tarik memberikan kekuatan yang sedikit lebih tinggi. Dari perubahan fisik memberikan sifat pegangan yang keras dan sedikit mengkeret. Perlakuan pengulangan terhadap bahan yang sama pada suhu yang lebih tinggi dilanjutkan pendinginan mendadak disertai sedikit penarikan akan menghasilkan struktur kristal yang lebih terorientasi pada bahan.

Pada bahan ini akan memberikan kekuatan yang lebih besar tetapi mulur lebih kecil. Dengan pengulangan berarti akan menghasilkan bentuk struktur supermolekuler yang lebih kristalin dan terorientasi serta kemungkinannya tidak dapat ditingkatkan lagi.

Usaha peningkatan kristalinitas pada bahan tersebut akan menimbulkan pemotongan rantai atau kerusakan (degradasi) sehingga kekuatannya akan turun secara dramatis. Perlakuan berulang tersebut harus dilakukan pada suhu yang lebih tinggi dari sebelumnya. Perlakuan pada suhu yang sama atau lebih rendah dimungkinkan tidak akan memberikan bentuk kristal terorientasi yang lebih tinggi. Perlakuan pada bahan tersebut dapat mencapai 7 g/denier hingga 8 g/denier



**Gambar 3.** Bentuk polimer amorf, kristalin dan kristalin terorientasi [5].

Serat poliester dalam bentuk amorf, kristalin dan kristalin-terorientasi seperti yang ditampilkan secara skematis pada Gambar 3 mempunyai sifat termomekanika cukup berlainan sehingga alat *TMA* cukup baik untuk mengidentifikasi ketiga bentuk struktur supermolekuler serat poliester. Pada pemanasan serat amorf dari suhu kamar sampai titik leleh akan terjadi serangkaian mekanisme yaitu sedikit mulur, dilanjutkan mengkeret pada suhu transisi gelas ( $T_g$ ) pada suhu sekitar 80 °C dan berlanjut sampai suhu 120 °C kemudian kembali mulur sampai panjang semula dan berlanjut mulur sampai putus pada suhu mendekati titik leleh. Hal ini menunjukkan ketidakstabilan struktur amorf yang mudah terpengaruh oleh suhu. Pada serat yang kristalin mempunyai sifat termomekanika yang lebih stabil meskipun peristiwa mulur tetap terjadi oleh pengaruh panas.

### Titik Leleh dan Entalpi Pelelehan

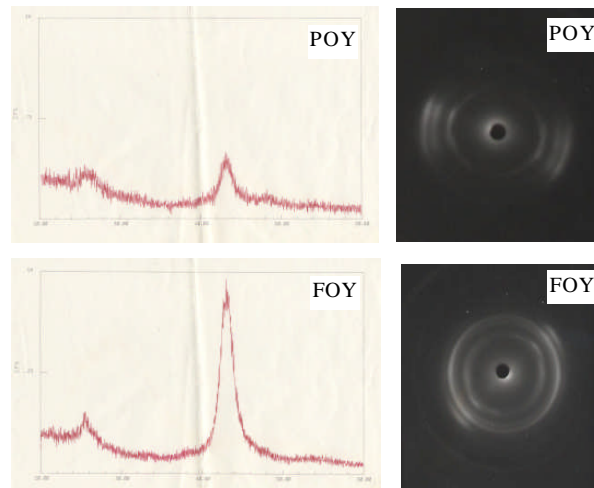
Hasil pengujian titik leleh dengan *Differential Scanning Calorimetry (DSC)* menunjukkan sedikit perbedaan titik leleh. Pada poliester amorf sedikit lebih rendah dibanding poliester kristalin. Pengujian entalpi untuk pelelehan pada bentuk kristalin lebih besar dibanding bentuk amorf. Bentuk kristalin pada pemanasan pada suhu 210 °C sebesar 16,2 kal/g sedangkan pada bentuk amorf hanya 9,3 kal/g.

### Difraksi Sinar X

Analisa dengan *Wide Angle Diffraction (WAXD)* dilakukan pada jarak 10 cm. Pola difraksi yang dihasilkan *Poliester Partially Oriented Yarn (POY)* dengan kristalinitas 7,1 % dan *Fully Oriented Yarn (FOY)* dengan kristalinitas 47,08 %.

### Berat Jenis dengan DGC

Dari hasil pengujian menggunakan *Density Gradient Column (DGC)* mempunyai berat jenis yang berbeda. Bentuk amorf mempunyai berat jenis lebih kecil dibanding bentuk kristalin dan bentuk kristal terorientasi adalah yang mempunyai berat jenis terbesar. Hasil pengujian terhadap *polyester chip*, serat *polyester POY*, dan beberapa serat modifikasinya menggunakan alat *DGC* memakai gradasi larutan toluen-karbon tetraklorida disajikan pada Tabel 1.



**Gambar 4.** Pola difraksi Poliester Partially Oriented Yarn (POY) dan Fully Oriented Yarn (FOY) diuji menggunakan SEM.

Dari Tabel 1 dapat disimpulkan bahwa berat jenis poliester *chip*, POY dan hasil modifikasinya berkisar antara 1,33943 g/cm<sup>3</sup> sampai dengan 1,39150 g/cm<sup>3</sup>. Kristalinitas dihitung berdasarkan fraksi volume antara 3,69 % sampai 47,08 %, sedangkan apabila dihitung berdasarkan fraksi berat antara 4,01 % sampai 49,23 %.

**Tabel 1.** Berat Jenis dan kristalinitas poliester dalam bentuk *chip*, POY dan modifikasinya diuji menggunakan *Density Gradient Column (DGC)*.

Sample	Berat Jenis	Kristalinitas (%)	
		Fraksi volume	Fraksi berat
Poliester chip	1,33943	3,69	4,01
Original POY	1,34222	6,02	6,52
Stretch & Heating	1,37583	34,03	35,99
Stretch & Heating 1	1,38938	45,31	47,45
Stretch & Heating 2	1,39150	47,08	49,23

## KESIMPULAN

Modifikasi struktur supermolekuler terhadap serat *Poliester Partially Oriented Yarn (POY)* dapat merubah sifat fisika dan mekanika seperti kekuatan, kestabilan dimensi, dan mulur serat. Modifikasi struktur supermolekuler dapat dilakukan dengan cara pemanasan, penarikan, pemanasan dan pendinginan mendadak (*quenching*) atau gabungan dari ketiga cara tersebut. Hasil modifikasi tersebut dapat menghasilkan struktur supermolekulernya dalam bentuk amorf terorientasi, kristalin, dan kristalin-terorientasi bergantung perlakuannya. Serat poliester yang mempunyai persen kristalinitas tinggi akan menghasilkan kekuatan dan kestabilan tinggi tetapi persen mulurnya rendah.

Gabungan perlakuan pemanasan, penarikan dan pendinginan mendadak yang dilakukan berulang secara terprogram akan menghasilkan bentuk kristalin-terorientasi yang sangat tinggi dan menghasilkan kekuatan dan kestabilan paling baik.

## DAFTAR ACUAN

- [1]. WENLER MARKTINFORMATIONEN, *High Tenacity Polyester Yarns International Trade*, Melliand International, (2003)
- [2]. XHUSAN G. YAN.T, *New PET Filament with Fractal Structure Comfortable and Natural Like*, Chemical Fiber International, (2003)
- [3]. ZIABICKI A., Structure Development in Formation of High- Performance Fibers From Rigid-rod and Flexible-Chain Polymer, *Proceeding of The International Symposium on Fiber Science and Technology*, Yokohama, (1994)
- [4]. TH.GRIES, T.FURDERER, *Influence of Goded Surface POY Material on the Quality of FDY*, Chemical Fiber International, **1** (2004)
- [5]. ROBERT L.MILLER, *Crystallinity*, Encyclopedia of Polymer Science and Technology, **4** (1990)
- [6]. WENLER MARKTINFORMATIONEN, *Fibers/ Yarns, Polyamide and Polyester Textured Yarn Trade*, Melliand International, **4** (2005)
- [7]. AKIRAKAITO, K. NAKAYAMA AND ZUBAIDI, *Journal of Applied Polymer Science*, (45) (1992) 1203-1211
- [8]. ZUBAIDI, The Modification and Characterization of Polyester POY (Partially Oriented Yarn) by Quenching, *The 2005 International Seminar on Microscopy and Microanalysis*, Indonesia (2005)